

УДК 721.791

М. А. Шолохов

ООО «ШТОРМ»,

г. Екатеринбург

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОИЗВОДСТВЕННОМУ ПРОЦЕССУ СВАРКИ ПО УЗКОМУ ЗАЗОРУ

*В статье рассмотрены вопросы формирования технологических требований к технологиям и оборудованию для сварки по узкому зазору корпусных конструкций специальной техники. Показано, что разработка оригинальных отечественных сварочных технологий и оборудования для механизированной сварки позволяет повысить уровень воспроизводимости качества сварных соединений.*

*Ключевые слова: корпусные конструкции, плавящийся электрод, технологии сварки, технологические требования, сварочное оборудование, узкий зазор, качество сварных соединений, сварка, плавящийся электрод, полуавтомат.*

М. А. Sholokhov

## LEADING-EDGE TECHNOLOGIES AND TECHNICAL REQUIREMENTS FOR THE PRODUCTION PROCESS OF NARROW GAP WELDING

*The article covers the setting up of technological requirements to the production process and equipment for narrow gap welding of special purpose machinery housing. It is shown, that development of original domestic welding technologies and equipment for mechanized welding allow to increase the level of quality stability of welding joints.*

*Keywords: housing, consumable electrode, welding technologies, technological requirements, welding equipment, narrow gap, quality of weld joints, welding, consumable electrode, semi-automatic machine.*

Важной задачей совершенствования технологий производства специальной техники является увеличение производительности и повышение качества изготовления корпусов специальной техники из высокопрочной стали.

Одним из путей дальнейшего повышения производительности процессов сварки, применяемых при изготовлении корпусных конструкций, является разработка и внедрение сварки по узкому зазору [1]. Проведенный комплекс

исследований [2] позволил рекомендовать специальные зауженные (щелевые) разделки свариваемых кромок для стыковых, угловых сварных соединений, а также соединений под острыми и тупыми углами. При этом угол наклона кромок зауженной разделки не превышает  $2-7^\circ$ , а общий угол разделки равен  $12-14^\circ$  [3]. Уменьшение площади сечения стыка позволяет в 2–3 раза, в зависимости от толщины свариваемого металла, снизить объем наплавляемого металла, а также сварочные деформации и перегрев основного металла.

Еще большими преимуществами обладает двухдуговая сварка по узкому зазору, остаточные сварочные напряжения при которой не превышают напряжения после сварки в стандартные разделки [2].

Результаты исследования влияния параметров сварки по узкому зазору на качество сварных соединений показали и оценки стабильности параметров сварки, влияющих на размеры и качество шва [4], позволили сформулировать технологические требования к сварке корпусных конструкций и к сварочному оборудованию.

#### *Технические требования к сварке корпусных конструкций*

Для получения более высокой производительности и обеспечения устойчивого положения дуги в глубокой разделке целесообразно использовать электродную проволоку диаметром 1,6; 2,0 мм.

При выполнении первых проходов качественное формирование слоев обеспечивается достаточно большими значениями скорости сварки (до 12 мм/с и токе до 340 А). По мере расширения ширины разделки мощность дуги следует увеличивать, повышая как ток, так и напряжение дуги.

При выполнении завершающих проходов, необходимо ограничивать скорость сварки даже при значительном токе из-за недостаточного прогревания боковых стенок. Предельная ширина разделки, при которой обеспечивается полный провар кромок разделки и формируется вогнутая поверхность наплавленного слоя составляет 8–9 мм, при приемлемом токе дуги до 370 А. Если разделка кромок шире, необходимо использовать сварку с поперечными колебаниями, а при превышении ширины слоя 10–12 мм, сварку слоя выполнять за два прохода.

Для обеспечения максимальной длительности охлаждения в диапазоне температур полиморфного превращения ( $850\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) вторая дуга должна располагаться на расстоянии, равном длине изотермы температуры точки Кюри ( $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Для снижения вероятности возникновения несплавлений и непроваров у кромок разделки, допуск на приближение электрода к боковой плоскости разделки должен составлять  $\pm 0,25\text{ мм}$ , а отклонения по скорости подачи электродной проволоки и сварки не должно превышать  $\pm 5\text{ \%}$ .

#### *Технические требования к сварочному оборудованию*

Для обеспечения допуска ( $\pm 0,25\text{ мм}$ ) на приближение электрода к боковой плоскости разделки требуется применение систем автоматической коррекции положения электрода в разделке. При автоматической сварке по узкому зазору для этих целей целесообразно использовать сканирующую дугу с относительно малой амплитудой поперечных колебаний. Период колебаний электрода должен быть достаточно малым, до  $0,05\text{--}0,20\text{ с}$ , то есть не вызывающим заметного периодического изменения размеров шва, но позволяющим осуществлять механическую реализацию поперечных колебаний сварочной горелки.

Допустимое отклонение напряжения дуги ( $\pm 1,8\text{ В}$ ) включает не только возможную нестабильность напряжения источника питания, но и падение напряжения в кабелях и прочих токоведущих элементах обусловлено в основном нагреванием в процессе работы. Устранить влияние нестабильности сопротивления кабеля проще всего путем уменьшения его сопротивления. Но даже при полном устранении нестабильности сопротивления сварочной цепи источник питания дуги должен обеспечивать стабильность напряжения в пределах допускаемого отклонения  $\pm 1,8\text{ В}$ , т. е. порядка  $\pm 1,5\text{ \%}$ . Другим требованием к источнику питания дуги является необходимость обеспечения устойчивости процесса сварки по узкому зазору. Современные средства электроники сделали перспективными использование резонансных сварочных преобразователей [5], так как при работе данных источников контроль тока и

напряжения происходит 1,5 миллиона раз в секунду, что обеспечивает высокую скорость управления и позволяет полностью устранить влияния колебаний напряжения сети и обеспечить требуемую точность стабилизации.

Механизмы подачи проволоки должны обеспечить стабильность скорости подачи электродной проволоки с возможными отклонениями в пределах  $\pm 2\%$ . Это же полностью относится к скорости перемещения горелки вдоль стыка.

Автоматы для двухдуговой сварки протяженных швов должны быть построены по блочно-модульному принципу с отдельной компоновкой трехкоординатной каретки, аппаратуры управления и двух механизмов подачи проволоки, каждый из которых должен быть укомплектован своим сварочным источником. Полуавтоматы для механизированной сварки также должны быть построены по блочно-модульному принципу с отдельной компоновкой механизма подачи проволоки с аппаратурой управления и сварочного источника.

С учетом сформулированных технических требований к производственным процессам и оборудованию для сварки по узкому зазору корпусных конструкций специальной техники разработаны технологии однодуговой механизированной сварки по узкому зазору и автоматической двухдуговой многопроходной сварки.

*Технология механизированной однодуговой многопроходной сварки по узкому зазору*

Однодуговую многопроходную сварку по узкому зазору целесообразно применять для непротяженных стыковых, или угловых и тавровых соединений, свариваемых под острым углом.

При механизированной сварке рекомендуется применять следующие технологические приемы:

- возбуждение и обрыв дуги должны проводиться на кромках свариваемых элементов;
- электрод размещается вертикально по центру разделки;

- перемещение горелки следует вести с перекрытием ванны возвратно-поступательно-вращательным движением конца электрода.

- высота каждого валика должна быть не более 3–4 мм;

- при ширине раскрытия кромок более 14 мм каждый слой выполняют за два или несколько проходов, при этом ширина каждого валика должна составлять от 9 до 16 мм, а перекрытие смежных валиков должно быть не менее 1/3 от ширины одного валика;

- облицовочные слои должны иметь плавный переход к основному металлу.

Зауженная разделка относительно малых толщин (до 15 мм) в большинстве случаев заваривается методом от кромки до кромки, т. е. один слой за один проход. При двухдуговой сварке, наоборот, за один проход сваривается два слоя.

*Технология автоматической двухдуговой многопроходной сварки по узкому зазору*

При автоматической двухдуговой многопроходной сварке по узкому зазору целесообразно совмещать выполнение корневого и «горячего» слоев шва. Однако при этом возникает проблема определения значений параметров, при которых обеспечивается устойчивое горение дуги в узкой разделке, отсутствие межслойных несплавлений и формирование плоской или вогнутой поверхности заполняющих валиков, а также определения необходимого количества проходов.

Поэтому режимы автоматической двухдуговой многопроходной сварки по узкому зазору определялись по специально разработанной методике, исключающей возникновение характерных дефектов формирования швов [6].

Рекомендуемые режимы двухдуговой многопроходной сварки сплошной электродной проволокой в защитных газах протяженных швов корпусных конструкций приведены в табл. 1.

Проведенный в работах [7; 8] анализ применяемых в настоящее время защитных газов и смесей показал, что наиболее целесообразно использовать

смесь газов Ar+CO<sub>2</sub>. Учитывая накопленный опыт нефтяной и газовой промышленности было принято решение заменить аргонокислородную смесь на газовую смесь (82 % Ar + 18 % CO<sub>2</sub>) при сварке элементов корпусных конструкций, относящихся к I категории. Сварку узлов, относящихся к II категории, выполнять, как и прежде в CO<sub>2</sub>.

Таблица 1

Режимы двухдуговой многопроходной сварки сплошной электродной проволокой

Параметры	Режимы сварки и наименование слоя					
	1-й проход		Последующие проходы			
	Корневой слой	Горячий проход	Заполняющие слои		Облицовочный слой	
			Горелка №			
№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	
Род тока / Полярность	Постоянный / Обратная					
Диаметр проволоки, мм	1,4-2,0					
Скорость подачи проволоки, м/мин (± 2 %)	12-16	10-14	9-15	8-14	9-12	7-11
Вылет проволоки, мм	Изменяется автоматически по мере заполнения разделки					
Сила тока, А (± 1 %)	250-295	320-370	310-370	300-360	190-240	180-235
Напряжение на дуге, В (±2 %)	24-25,5	30,5-36,0	28,5-36,0	28,5-35,5	22,5-24,5	
Скорость сварки, см/мин (± 2 %)	1,0-1,7		0,3-1,0		0,5-0,9	
Скорость колебаний горелки, мм/сек (± 1 %)	10-20	20-60	50-80		80-100	
Размах колебаний, мм (± 0,5)	Устанавливается в зависимости от ширины разделки					
Задержка на кромках, сек (± 0,1)	0,1-1,0					
Защитный газ	Смесь 82 % Ar + 18 % CO <sub>2</sub>					
Расход газа, л/мин	В зависимости от типа соединения от 15-18 до 25-30					

При отработке технологий сварки по узкому зазору учитывали вероятность возникновения дефектов формирования швов и осуществляли расчет допусков на параметры процесса дуговой сварки по узкому зазору [9]. Помимо этого принимали во внимание влияние отклонений химического состава высокопрочной стали и электродной проволоки на механические свойства соединений [10]. Поэтому выполнение сварки по узкому зазору на режимах, приведенных в табл. 4,5,6 обеспечивает качественное сплавление основного и присадочного металла у кромок разделки.

*Реализация технологических требований в оборудовании  
для автоматической и механизированной сварки по узкому зазору*

Технологические требования к производственным процессам и оборудованию для сварки по узкому зазору корпусных конструкций специальной техники были в полной мере учтены при создании необходимого оборудования. Так, автоматы для двухдуговой многопроходной сварки протяженных швов, а также полуавтоматы для однодуговой механизированной сварки были построены по блочно-модульному принципу с отдельной компоновкой функциональных блоков и узлов.

На рис. 1 представлен общий вид сварочного источника *MICOR 500* с использованием технологии *MICOR* (рис. 1, а), а также общий вид сварочных полуавтоматов Шторм-*MicorMIG 500* (рис. 1, б).



Рис. 1. Сварочный источник *Micor 500* (а) и сварочные полуавтоматы *MicorMIG 500* (б)  
в едином и раздельном исполнении

Следует отметить, что, несмотря на прогрессивность блочно-модульного исполнения полуавтоматов, часть потребителей потребовала, чтобы сварочный источник был объединен в едином корпусе, тогда как другая считала более удобным их раздельное исполнение. С учетом необходимости учета пожеланий потребителей [11; 12] было организовано исполнение полуавтоматов по обоим компоновочным вариантам.

Поэтому сварочные источники были рекомендованы к применению при реализации процессов автоматической и роботизированной сварки плавящимся электродом. В этой связи, источниками комплектуются автоматы для двухдуговой сварки, роботизированные комплексы (рис. 2).

С целью снижения вероятности несимметричного формирования шва и возникновения несплавлений вследствие отклонений расположения электрода в разделке было разработано специальное устройство для правки электродной проволоки, а также бесконтактная система коррекции, использующая дугу в качестве датчика. Данные мероприятия позволили существенно повысить качество формирования швов при сварке по узкому зазору.



*а*



*б*

Рис. 2. Примеры применения сварочных источников в различных комплексах:

- а)* автоматический комплекс для сварки продольных швов;
- б)* роботизированный комплекс для сварки

Представленные технологии и оборудование для сварки по узкому зазору корпусных конструкций специальной техники прошли в установленном порядке квалификационные испытания и рекомендованы к промышленному применению.

Промышленное использование разработанного оборудования: двухдуговых автоматов АДГФ-502 ШТОРМ и однодуговых сварочных полуавтоматов MicorMIG 500 показало, что оно обеспечивает существенное повышение производительности процессов сварки при стабильно высоком качестве сварных соединений.

### *Список литературы*

1. Шолохов М. А., Мельников А. Ю., Гончаров С. Н. Пути повышения производительности сварки корпусных конструкций специальной техники // Заготовительные производства в машиностроении. – 2015. – № 5. – С. 10–14.
2. Шолохов М. А., Куркин А. С., Полосков С. И. Оценка влияния формы разделки



и режимов сварки на остаточные напряжения в корпусных конструкциях специальной техники // Сварка и Диагностика. – 2014. – № 6. – С. 50–55.

3. Шолохов М. А. Перспективные технологии и оборудование для сварки по узкому зазору корпусных конструкций специальной техники // Сварка и Диагностика. – 2015. – № 5.

4. Шолохов М. А. Технологические требования к производственному процессу и оборудованию для сварки по узкому зазору корпусных конструкций специальной техники // Сварка и Диагностика. – 2015. – № 4.

5. Резонансные технологии в сварке: этапы развития / А. А. Зиновкин [и др.] // Сварка и диагностика. – 2013. – № 1. – С. 48–52.

6. Шолохов М. А., Ерофеев В. А., Полосков С. И. Методика расчета параметров двухдуговой многопроходной сварки плавящимся электродом в защитных газах // Сварочное производство. – 2015. – № 7. – С. 9–16.

7. Анализ областей эффективного применения диоксида углерода и газовых смесей на его основе / И. В. Васильев [и др.] // Технические газы. – 2007. – № 4. – С. 48–55.

8. Vaidya V. V. Shielding gas mixtures for semiautomatic welds // Welding Journal. 2002. Vol. 81. No. 9. P. 43–48.

9. Шолохов М. А., Ерофеев В. А., Полосков С. И. Оценка вероятности возникновения дефектов формирования швов и расчет допусков на параметры процесса дуговой сварки по узкому зазору // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2015. – № 5. – С. 66–73.

10. Шолохов М. А. Моделирование влияния отклонений процесса сварки и состава электродного металла на свойства сварных соединений // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – № 6. Ч. 2. – С. 153–163.

11. Полосков П. С., Полосков С. С. Успешные взаимоотношения с поставщиками как фактор удовлетворения требований потребителей к качеству продукции // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2009. – № 3. – С. 109–114.

12. Полосков П. С., Полосков С. С. Основные принципы учета требований потребителей при процессном подходе к качеству продукции // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2008. – Т. 1. – № 2. – С. 180–185.